

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-368799

(43)Date of publication of application : 21.12.1992

(51)Int.CI.

H05H 1/00  
G01R 27/02

(21)Application number : 03-144847

(71)Applicant : DAIHEN CORP

(22)Date of filing : 17.06.1991

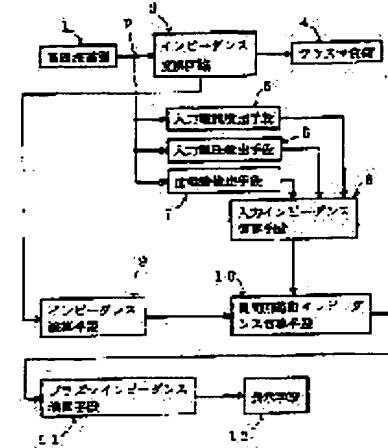
(72)Inventor : KANETANI MASAO

## (54) DEVICE FOR MEASURING PLASMA IMPEDANCE

## (57)Abstract:

PURPOSE: To measure the plasma impedance without detecting applied voltage and applied current of plasma.

CONSTITUTION: An impedance converting circuit 2 is interposed between a high frequency power source 1 and a plasma load 4. High frequency current and high frequency voltage and a phase difference between the current and the voltage are detected at a measuring point set in the input side of the impedance converting circuit 2. Input impedance seen from the measuring point to the load side is computed on the basis of the current, voltage, and a phase difference. Load circuit side impedance seen from an output end of the impedance converting circuit 2 to the plasma load side through a coaxial cable is computed on the basis of a circuit constant and the input impedance. Plasma impedance can be computed on the basis of the load circuit side impedance and the circuit constant of the coaxial cable.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平4-368799

(43)公開日 平成4年(1992)12月21日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H 05 H 1/00  
G 01 R 27/02

識別記号

厅内整理番号  
A 9014-2G  
A 7706-2G

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全 9 頁)

(21)出願番号

特願平3-144847

(22)出願日

平成3年(1991)6月17日

(71)出願人

000000262

株式会社ダイヘン

大阪府大阪市淀川区田川2丁目1番11号

(72)発明者

金谷 雅夫

大阪府大阪市淀川区田川2丁目1番11号

株式会社ダイヘン内

(74)代理人

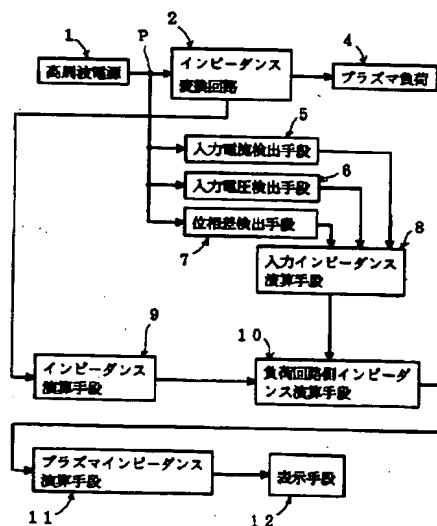
弁理士 松本 英俊

(54)【発明の名称】 プラズマインピーダンス測定装置

(57)【要約】

【目的】 プラズマの印加電圧と電流とを検出しないでプラズマインピーダンスを測定する。

【構成】 高周波電源1とプラズマ負荷4との間にインピーダンス変換回路2を挿入する。インピーダンス変換回路2の入力側に設定した測定点で高周波電流と、高周波電圧と、電流及び電圧の位相差とを検出する。電流、電圧及び位相差から、測定点より負荷側を見た入力インピーダンスを演算する。回路定数と入力インピーダンスとから、インピーダンス変換回路の出力端より同軸ケーブルを通してプラズマ負荷を見た負荷回路側インピーダンスを演算する。また負荷回路側インピーダンスと同軸ケーブルの回路定数とからプラズマインピーダンスを演算することもできる。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 高周波電源から電力が供給されているプラズマ負荷のインピーダンスを測定するプラズマインピーダンス測定装置において、前記高周波電源とプラズマ負荷との間にインピーダンス変換回路を挿入しておき、前記インピーダンス変換回路の入力側の回路の任意の点に設定した測定点での高周波電流の絶対値を検出する入力電流検出手段と、前記測定点での高周波電圧の絶対値を検出する入力電圧検出手段と、前記測定点での高周波電流と高周波電圧との位相差を検出する位相差検出手段と、前記測定点での高周波電流の絶対値と高周波電圧の絶対値と前記位相差とから、前記測定点より負荷側を見たインピーダンスを入力インピーダンスとして演算する入力インピーダンス演算手段と、前記測定点とインピーダンス変換回路の出力端との間の回路の回路定数と前記入力インピーダンスとから、前記インピーダンス変換回路の出力端より前記プラズマ負荷側の回路を見たインピーダンスを負荷回路側インピーダンスとして演算する負荷回路側インピーダンス演算手段とを備えてなるプラズマインピーダンス測定装置。

【請求項2】 前記インピーダンス変換回路の出力端と前記プラズマ負荷との間をつなぐ回路の定数と前記負荷回路側インピーダンスとから、前記プラズマ負荷のインピーダンスを演算するプラズマインピーダンス演算手段を更に備えてなる請求項1に記載のプラズマインピーダンス測定装置。

【請求項3】 前記インピーダンス変換回路は、可変コンデンサ、可変インダクタまたはこれらの組み合わせをインピーダンス調整手段としたインピーダンス整合回路からなり、前記インピーダンス調整手段の調節部の位置を検出して、該インピーダンス調整手段のインピーダンスを演算するインピーダンス演算手段を有し、前記負荷回路側インピーダンス演算手段は、前記インピーダンス演算手段が演算したインピーダンス調整手段のインピーダンスとその他の回路定数とを用いて前記負荷回路側インピーダンスを演算する請求項1または2に記載のプラズマインピーダンス測定装置。

【請求項4】 前記プラズマインピーダンス演算手段の演算結果をディスプレイ装置の画面上に表示する表示手段を更に備えている請求項1ないし3のいずれか1つに記載のプラズマインピーダンス測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、高周波電源から電力が供給されているプラズマ負荷のインピーダンスを測定するプラズマインピーダンス測定装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 半導体IC、LCD(液晶ディスプレイ)等の製造過程においては、エッティング、スパッタリ

ング、薄膜成長等を行う際に、プラズマを用いるプロセス(プラズマプロセスという。)が行われる。プラズマプロセスにおいては、エッティング、スパッタリング、薄膜成長等の処理を行うチャンバ内に設けた電極に高周波電力を供給して、チャンバ内にプラズマを発生させていく。

【0003】 このように、プラズマを生じさせる負荷(プラズマ負荷という。)に高周波電力を供給する場合

10 には、高周波電源とプラズマ負荷との間のインピーダンスの整合をとることが重要であり、両者間のインピーダンスの整合がとれていない場合には、高周波電源の出力端で電力の反射が生じてプラズマ負荷に高周波電力を効率良く供給することができないため、そのプロセスにおいて好結果を得ることができない。

【0004】 そのため、高周波電源からプラズマ負荷に電力を供給する場合には、高周波電源とプラズマ負荷との間にL、C回路やトランジスタ等からなるインピーダンス整合回路を挿入することが必要不可欠である。

【0005】 図4は、高周波電源1から自動インピーダンス整合回路2'を通じてプラズマ負荷4に電力を供給する場合の回路図を示したものである。インピーダンス整合回路2'は、一定のインダクタンスを有するコイルL1と、第1の可変コンデンサC1と、タップを選択することによりインダクタンスを調整できるようになっているコイルL2と、第2の可変コンデンサC2とにより構成され、第1の可変コンデンサC1と第2の可変コンデンサC2の静電容量を変えることによりインピーダンスの整合を行うようになっている。

【0006】 第1及び第2の可変コンデンサC1及びC2の調整を自動的に行わせるため、この種の自動整合回路では、図示しない検出器により、整合回路2'の入力端の高周波電圧V及び高周波電流Iと、該電圧V及び電流Iの位相差θとを検出し、該電圧Vの絶対値と電流Iの絶対値との比から、インピーダンス整合回路の入力端より負荷側を見たインピーダンスZ1'を検出して、該インピーダンスZ1'を電源の出力インピーダンスZ0(=50Ω、一定)に一致させ、かつ位相差θを零にするようにコンデンサC1及びC2を調節する。

【0007】 上記の調節の内、インピーダンスZ'を電源の出力インピーダンスの絶対値に一致させるための調節は、主として第1のコンデンサC1の静電容量を調節することにより行われ、位相差θを零にするための調節は、主として第2のコンデンサC2の静電容量を調節することにより行われる。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】 無線通信用のアンテナや、増幅器の入力回路等に設ける一般的のインピーダンス整合回路においては、負荷のインピーダンスが予め分かれているため、既知の負荷インピーダンスを用いて整合回路の回路定数を容易に設定することができる。また

3

負荷インピーダンスが一定であれば、整合回路の回路定数を一定として整合状態を保つことができる。

【0009】しかしながらプラズマ負荷の場合には、そのインピーダンスが時々刻々変化するため、既知のインピーダンスを接続して整合回路の回路定数を決めるわけにはいかない。またプラズマインピーダンスが時々刻々変化するため、固定の回路定数を有する整合回路ではインピーダンスの整合をとることができない。

【0010】図4に示したインピーダンス整合回路において、インピーダンスの整合を的確に行わせるために、整合回路の回路定数（コンデンサC1及びC2の静電容量の可変範囲、コイルL1、L2のインダクタンス）をプラズマインピーダンスの変動範囲に応じて適宜に設定することが必要である。

【0011】ところが、従来は、プラズマインピーダンスを測定する適当な方法がなく、プラズマインピーダンスに関する情報を用いて整合回路2の回路定数を設定することができなかったため、整合回路2の入力端で測定した電圧及び電流のみに基づいて、高周波電源側への反射電力を低減させるように、整合回路の回路定数を設定していた。この回路定数の設定は、プラズマインピーダンスに関する情報が与えられない状態で、経験と勘とに頼って行う必要があるため、設定に時間を要するだけでなく、必ずしも最適の設定を行うことができないという問題があった。回路定数の設定が適切でないと、プラズマ負荷の全ての状態で整合をとることができなくなり、自動整合回路の制御動作が不能になることがあった。

【0012】その他、プラズマ負荷の状態を解析したり、インピーダンス整合回路の動作不良の原因を解析したりするするためにも、プラズマインピーダンスを監視することが好ましいが、従来はプラズマインピーダンスを知る適当な方法が提案されていなかった。

【0013】尚プラズマインピーダンスを測定する方法として、整合回路2の出力側で電圧と電流とを測定する方法が考えられるが、整合回路2とプラズマ負荷4との間には定在波が発生していて、電圧が非常に高い上にその周波数が高いため、整合回路2の出力側で電圧と電流を測定することによりプラズマインピーダンスを測定することは困難である。

【0014】本発明の目的は、プラズマインピーダンスを的確に測定することができるプラズマインピーダンス測定装置を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明は、高周波電源1から電力が供給されているプラズマ負荷4のインピーダンスを測定するプラズマインピーダンス測定装置である。

【0016】本発明のプラズマインピーダンス測定装置では、図1に示したように、高周波電源1とプラズマ負

4

荷4との間にインピーダンス変換回路2を設ける。このインピーダンス変換回路は、入出力のインピーダンスを変換する回路であって、その回路定数が既知のものであればよく、L、C回路やトランジスタを用いることができるが、インピーダンス整合回路が設けられている場合には、該インピーダンス整合回路自体を上記インピーダンス変換回路2とすることができる。またインピーダンス整合回路の一部を上記インピーダンス変換回路2として用いることもできる。

10 【0017】インピーダンス整合回路としては、可変コンデンサ、可変インダクタ（コイルのインダクタンス値を微細に変化させることができる素子）またはこれらの組み合わせを、入出力インピーダンスを調節するインピーダンス調整手段としたものを用いることができる。

【0018】本発明の測定装置では、インピーダンス変換回路2の入力側の回路の任意の点に設定した測定点Pでの高周波電圧の絶対値を検出する入力電圧検出手段6と、測定点Pでの高周波電流と高周波電圧との位相差を検出する位相差検出手段7と、測定点Pでの高周波電流の絶対値と高周波電圧の絶対値と位相差とにより、測定点から負荷側を見たインピーダンスを入力インピーダンスとして演算する入力インピーダンス演算手段8と、測定点Pとインピーダンス変換回路2の出力端との間の回路の回路定数と前記入力インピーダンスとから、インピーダンス変換回路2の出力端よりプラズマ負荷側の回路を見たインピーダンスを負荷回路側インピーダンスとして演算する負荷回路側インピーダンス演算手段10とを設ける。上記負荷回路側インピーダンス演算手段10が演算するプラズマインピーダンスは、インピーダンス変換回路2の出力端とプラズマ負荷4との間をつなぐ回路のインピーダンスを含んでいるが、プラズマ負荷のインピーダンスのみをプラズマインピーダンスとして測定する場合には、インピーダンス変換回路の出力端とプラズマ負荷との間をつなぐ回路の定数と負荷回路側インピーダンスとから、プラズマ負荷のインピーダンスを演算するプラズマインピーダンス演算手段11を更に設ける。

30 【0019】インピーダンス変換回路として、可変コンデンサ、可変インダクタまたはこれらの組み合わせをインピーダンス調整手段としたインピーダンス整合回路を用いる場合には、インピーダンス調節手段の調節部の位置を検出して、該インピーダンス調節手段のインピーダンスを演算するインピーダンス演算手段9を設ける。そして負荷回路側インピーダンス演算手段では、インピーダンス演算手段9が演算したインピーダンス調節手段のインピーダンスとその他の回路定数とを用いて負荷回路側インピーダンスを演算する。

【0020】また演算結果を容易に確認できるようにするため、上記プラズマインピーダンス演算手段の演算結果をディスプレイ装置の画面上に表示する表示手段12を更に設けることが好ましい。

40 50

【課題を解決するための手段】本発明は、高周波電源1から電力が供給されているプラズマ負荷4のインピーダンスを測定するプラズマインピーダンス測定装置である。

【0016】本発明のプラズマインピーダンス測定装置では、図1に示したように、高周波電源1とプラズマ負

5

【0021】インピーダンス変換回路2の入力側に設定する測定点Pは、インピーダンス変換回路2と高周波電源1の出力端子との間の回路の任意の点に設定することができるが、インピーダンス変換回路2として自動インピーダンス整合回路が用いられる場合には、該インピーダンス整合回路の入力端を測定点Pとするのがよい。このように自動インピーダンス整合回路の入力端を測定点とすれば、電流検出手段、電圧検出手段及び位相差検出手段として、自動インピーダンス整合回路に本来設けられているものを利用することができる。

【0022】尚インピーダンス変換回路2の入力端よりも電源側に測定点を設定した場合には、インピーダンス変換回路2の入力インピーダンスと、インピーダンス変換回路の入力端子と測定点との間の線路のインピーダンスとの和が、入力インピーダンス演算手段8により演算されることになる。

【0023】

【作用】上記のプラズマインピーダンス測定装置において、入力インピーダンス演算手段は、測定点から負荷側を見たインピーダンスを入力インピーダンスZ1として演算する。測定点とインピーダンス変換回路の出力端との間の回路の回路定数は既知である。インピーダンス変換回路に可変コンデンサ等の可変素子が設けられている場合でもその定数（コンデンサの場合には静電容量）は操作子の位置等から容易に知ることができる。負荷回路側インピーダンス演算手段10は、インピーダンス変換回路2の出力端子からプラズマ負荷側の回路を見た負荷回路側インピーダンスZ2の抵抗分及びリアクタンス分をそれぞれ未知数として、上記既知の回路定数と演算で求めた入力インピーダンスZ1とから、該負荷回路側インピーダンスの抵抗分及びリアクタンス分を演算する。

【0024】インピーダンス整合回路の出力端とプラズマ負荷との間をつなぐ分布定数回路の定数は既知であるため、上記負荷回路側インピーダンスが求まれば、分布定数回路の公式よりプラズマインピーダンスZpを求めることができる。

【0025】上記の各演算はコンピュータを用いることにより瞬時に行うことができるため、時々刻々変化するプラズマインピーダンスをほぼリアルタイムで測定することができる。

【0026】プラズマインピーダンスを知ることができれば、インピーダンス整合回路の回路定数の設定を的確に行うことができる。また時々刻々変化するプラズマインピーダンスをリアルタイムで測定するため、高周波電力に対する負荷の状態を監視することができる。

【0027】更に上記の測定結果を用いてインピーダンス整合回路の自動制御を行うことも可能である。

【0028】

【実施例】図2は本発明の実施例の構成を示したもの

6

で、同図において1は高周波電源、2はインピーダンス変換回路であり、このインピーダンス変換回路は、プラズマ負荷に高周波電力を供給する際に従来から用いられている自動インピーダンス整合回路からなっている。インピーダンス変換回路2は同軸ケーブル3を通してプラズマ負荷4に接続されている。

【0029】インピーダンス変換回路2を構成するインピーダンス整合回路は、図4に示したものと同様に、インダクタンスが一定なコイルL1と、第1の可変コンデンサC1と、第2の可変コンデンサC2と、タップを選択することによりインダクタンスの調整が可能なコイルL2とを備えている。第1及び第2の可変コンデンサC1及びC2のそれぞれの静電容量を調節する調節部（操作軸）は、モータを駆動源とした図示しない操作機構に連結されている。また各可変コンデンサの操作子を駆動するモータを制御する図示しない制御部が設けられていて、該制御部により可変コンデンサC1及びC2の操作子の回転を制御することにより、それぞれの可変コンデンサの静電容量を調整するようになっている。

【0030】この例では、可変コンデンサC1及びC2により、インピーダンス整合回路のインピーダンス調節手段が構成されている。

【0031】インピーダンス変換回路2を構成する自動インピーダンス整合回路の入力端には、高周波電流I（ベクトル）の絶対値|I|と、高周波電圧V（ベクトル）の絶対値|V|と、電流Iと電圧Vの位相差θとを検出する検出器2Aが設けられている。

【0032】インピーダンス整合回路の制御部は、高周波電圧Vの絶対値と高周波電流Iの絶対値との比をとつて、該整合回路の入力端子から負荷側を見たインピーダンスZ1'を演算し、主として第1のコンデンサC1を調整することにより、該インピーダンスZ1'を電源の出力インピーダンスZ0の絶対値（=50Ω、一定）に一致させるように調節する。制御部はまた主として第2のコンデンサC2を調整することにより、高周波電流Iと高周波電圧Vとの位相差θを零にするように調節する。

【0033】本発明においては、インピーダンス変換回路2から電源の出力端に至る回路の任意の点に設定した測定点から該インピーダンス整合回路を見たインピーダンスを入力インピーダンスZ1として求めて、これをプラズマインピーダンスの演算に用いるが、本実施例では、インピーダンス変換回路2の入力端を測定点とし、該変換回路2を構成する自動インピーダンス整合回路に本来設けられている検出器2Aが検出している電流I、電圧V及び位相差θを入力インピーダンスZ1の演算に用いる。この場合の入力インピーダンスZ1は自動インピーダンス整合回路で演算されるインピーダンスZ1'に等しくなる。

【0034】本発明ではまた、測定点とインピーダンス

50

(5)

特開平4-368799

7

変換回路2の出力端との間の回路の回路定数と入力インピーダンスZ1とから、インピーダンス整合回路2の出力端よりプラズマ負荷側の回路を見たインピーダンスを負荷回路側インピーダンスZ2として演算する。

【0035】本実施例では、インピーダンス変換回路2の入力端を測定点としているため、この演算には入力インピーダンスZ1と、インピーダンス変換回路の回路定数とを用いればよい。

【0036】インピーダンス変換回路2の回路定数は、第1及び第2の可変コンデンサC1及びC2の静電容量と、コイルL1及びL2のインダクタンスである。これらの内、コイルL1及びL2のインダクタンスは既知であるが、インピーダンス調節手段である第1及び第2の可変コンデンサC1及びC2の静電容量は随時変化する。そこで本実施例では、可変コンデンサC1及びC2の静電容量を演算するため、可変抵抗器VR1及びVR2を設け、これらの可変抵抗器の摺動子を可変コンデンサC1及びC2の操作子と連動するようにそれぞれの可変コンデンサの操作子の駆動機構に連結している。可変抵抗器VR1及びVR2の両端には一定の直流電圧を印加しており、可変抵抗器VR1及びVR2の摺動子と接\*

$$|Z_1| = |I| / |V|$$

次に上記インピーダンスの絶対値と、電圧、電流の位相差θとから、次式により入力インピーダンスZ1を演算する。該インピーダンスZ1の抵抗分をRとし、リアク※

$$R_1 = |Z_1| \cos \theta$$

$$X_1 = |Z_1| \sin \theta$$

次いで位置検出信号Vp1及びVp2から可変コンデンサC1及びC2の操作子の位置を求めて、その結果に基づいて可変コンデンサC1及びC2のインピーダンス- $j(1/\omega C_1)$ 及び- $j(1/\omega C_2)$ を演算する。

【0041】次に変換回路の出力端から負荷側の回路を見た負荷回路側インピーダンスZ2を、 $Z_2 = R_2 + jX_2$ とおいて、該R2及びX2を未知数とし、入力イン★

$$R_2 = R * (\omega C_1)^2 / B$$

$$X_2 = \{R^2 * \omega C_1 + (X + \omega C_1) * \omega C_1 * X\} / B + \omega (C_2 - L_2)$$

… (4)

… (5)

但し、

$$X = X_1 - \omega L_1$$

$$B = R^2 + (X + \omega C_1)^2$$

… (6)

… (7)

次に変換回路2とプラズマ負荷との間を接続する同軸ケーブルの特性インピーダンスを50Ω、該同軸ケーブルの長さをd [m]、インピーダンス変換回路2とプラズマ★

$$Z_p = 50 * z_p$$

… (8)

但し、

$$z_p = \{z_2 - j \tan(\beta d)\} / \{1 - j z_2 \tan(\beta d)\}$$

… (9)

$$z_2 = Z_2 / 50$$

… (10)

本実施例では、図3のフローチャートの、インピーダンスZ1の絶対値を演算する過程と、インピーダンスZ1のベクトルを求める過程とにより、入力インピーダンス

8  
\* 地間にそれぞれコンデンサC1及びC2の操作子の位置(回転角)に相応した位置検出信号Vp1及びVp2を得るようにしている。この実施例では、可変抵抗器VR1及びVR2によりインピーダンス調節手段の調節部の位置を検出する調節位置検出装置が構成され、この検出装置の検出信号Vp1及びVp2からインピーダンス調節手段としての可変コンデンサC1及びC2のインピーダンスが演算される。

【0037】電流の絶対値|I|、電圧の絶対値|V|、位相差θ及び位置検出信号Vp1、Vp2はアナログ/デジタルコンバータ(A/Dコンバータ)20に入力されてデジタル信号に変換され、それぞれのデジタル信号がコンピュータ21に入力されている。

【0038】コンピュータ21は図3に示したアルゴリズムに従ってプラズマインピーダンスを演算し、その結果をディスプレイ装置12に表示する。

【0039】図3に示したアルゴリズムに従って行われる処理は次の通りである。

【0040】先ず電流Iの絶対値|I|と電圧Vの絶対値|V|とから次式(1)により入力インピーダンスZ1の絶対値|Z1|を演算する。

… (1)

※タンス分をXとし、 $Z_1 = R_1 + j X_1$ とおくと、R1及びX1は次の式で与えられる。

… (2)

… (3)

★ピーダンスZ1の抵抗分R1及びリアクタンス分X1と、変換回路の構成要素のリアクタンス $1/\omega C_1$ 、 $1/\omega C_2$ 、 $\omega L_1$ 及び $\omega L_2$ とを既知数として、R2及び $\omega X_2$ を求める。これらR2及び $\omega X_2$ は次の式により与えられる。尚「\*」は乗算記号を示す。

【0042】

$$R_2 = R * (\omega C_1)^2 / B$$

$$X_2 = \{R^2 * \omega C_1 + (X + \omega C_1) * \omega C_1 * X\} / B + \omega (C_2 - L_2)$$

… (4)

… (5)

☆負荷4との間を接続する分布定数回路の位相定数をβとすると、プラズマインピーダンスZpは次の式により求められる。

… (6)

… (7)

… (8)

演算手段8が実現される。また可変コンデンサC1、C2のインピーダンスを計算する過程と、インピーダンス変換回路の回路定数及び入力インピーダンスZ1から負

9

荷回路側インピーダンス  $Z_2$  を演算する過程とにより負荷回路側インピーダンス演算手段が実現される。更にプラズマインピーダンス  $Z_p$  を計算する過程により、プラズマインピーダンス演算手段 11 が実現される。

【0043】上記プラズマインピーダンス  $Z_p$  と、入力インピーダンス  $Z_1$  と、負荷回路側インピーダンス  $Z_2$  とをコンピュータのディスプレイ装置の画面上に表示させる。この過程により、表示手段 12 が実現される。

【0044】上記の各インピーダンスは例えば、自動インピーダンス整合回路のインピーダンスの整合範囲を表示したスミスチャート上に表示して、自動インピーダンス整合回路の出力インピーダンス（負荷インピーダンスにより決まる。）が整合範囲にあるか否かを判断するための判断基準として用いることができる。尚スミスチャートを用いる代りに、インピーダンスの直交座標系を用いて上記インピーダンス  $Z_p$ 、 $Z_1$  及び  $Z_2$  を表示させようとしてもよい。

【0045】上記の実施例では、インピーダンス変換回路 2 として自動インピーダンス整合回路を用いているが、自動インピーダンス整合回路の構成は図示の例に限られるものではない。例えば図 2において、コイル  $L_1$  は省略される場合がある。また図 2 のインピーダンス整合回路において、可変コンデンサ  $C_2$  は、該コンデンサ  $C_2$  とコイル  $L_2$  との直列回路の等価的なインダクタンスを変化させるために設けられているが、インダクタンス値を微細に調整し得る可変インダクタを使用できる場合（周波数帯域によっては使用できない場合もある。）には、可変コンデンサ  $C_2$  及びコイル  $L_2$  の直列回路を可変インダクタ単体で置き換えて、該可変インダクタをインピーダンス整合回路のインピーダンス調節手段とすることもできる。その場合には、可変インダクタの調節部の位置を検出して、検出した位置から可変インダクタのインピーダンス値を演算するようにする。

【0046】その他インピーダンス整合回路の構成には

10

無数の変形を考えることができ、可変コンデンサと可変インダクタとの双方をインピーダンス調節手段とする場合もある。

【0047】尚本発明においてプラズマインピーダンスの測定のために用いるインピーダンス変換回路は、入出力のインピーダンスを変換するものであって、その回路定数が既知のもの、または回路定数を知り得るものであればよく、該インピーダンス変換回路としてトランジスタや、L、C 回路等を用いることもできる。

10 【0048】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、プラズマに印加されている電圧及び電流を測定せずに、プラズマインピーダンスをほぼリアルタイムで測定することができる利点がある。

【0049】プラズマインピーダンスを測定することにより、高周波電力に対する負荷の状態を知ることができるのでなく、高周波電源とプラズマ負荷との間に設けられるインピーダンス整合回路の回路定数の測定を的確に行なうことができるようになる。

20 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施例の構成を示す回路図である。

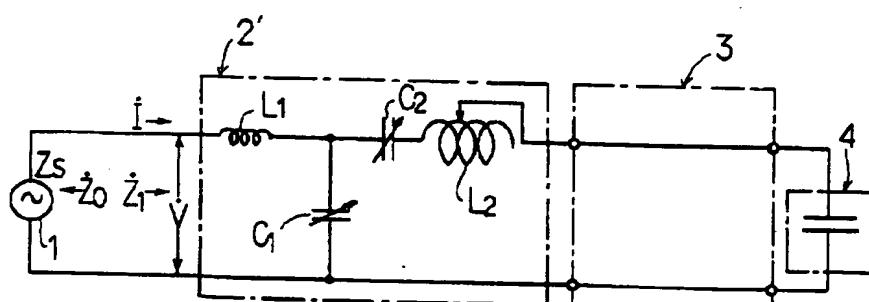
【図3】本発明の各手段を実現するコンピュータソフトのアルゴリズムを示すフローチャートである。

【図4】高周波電源からプラズマ負荷に電力を供給する回路の構成を概略的に示した回路図である。

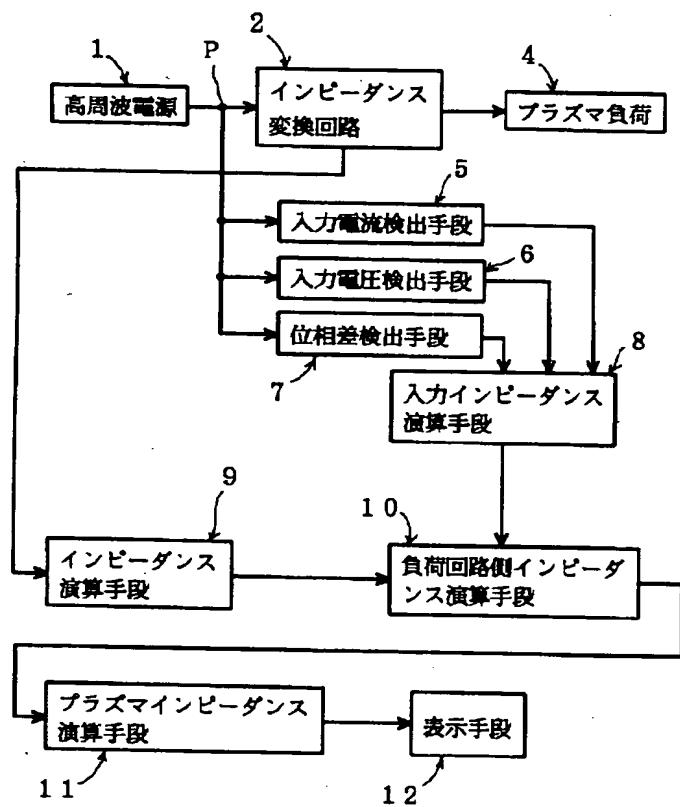
【符号の説明】

1…高周波電源、2…インピーダンス変換回路、4…プラズマ負荷、5…入力電流検出手段、6…入力電圧検出手段、7…位相差検出手段、8…入力インピーダンス演算手段、9…インピーダンス演算手段、10…負荷回路側インピーダンス演算手段、11…プラズマインピーダンス演算手段、12…表示手段。

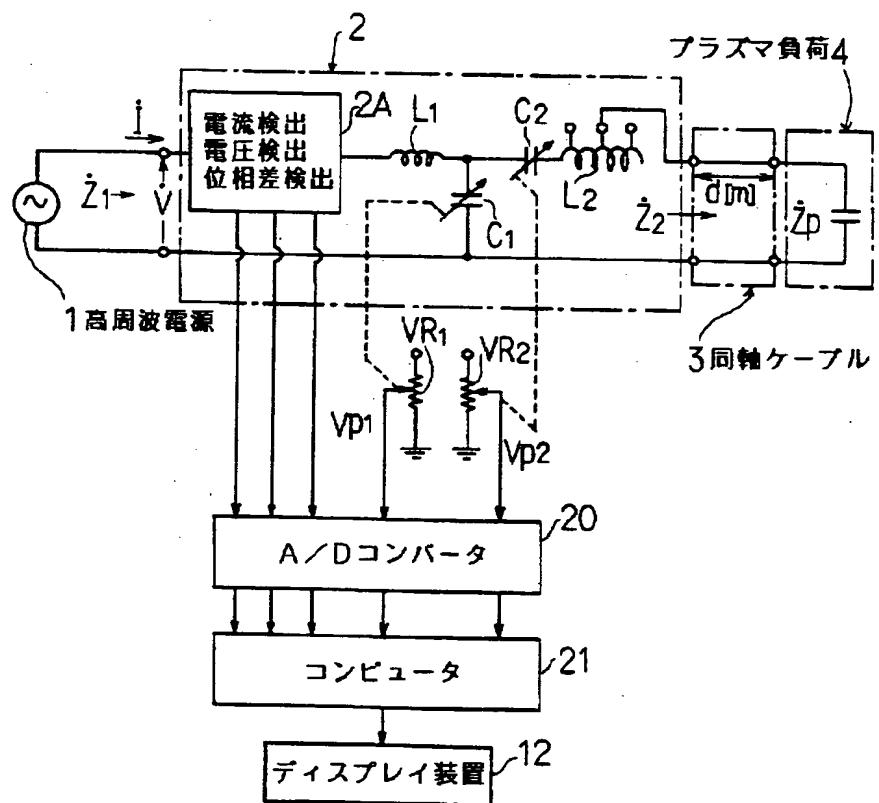
【図4】



【図1】



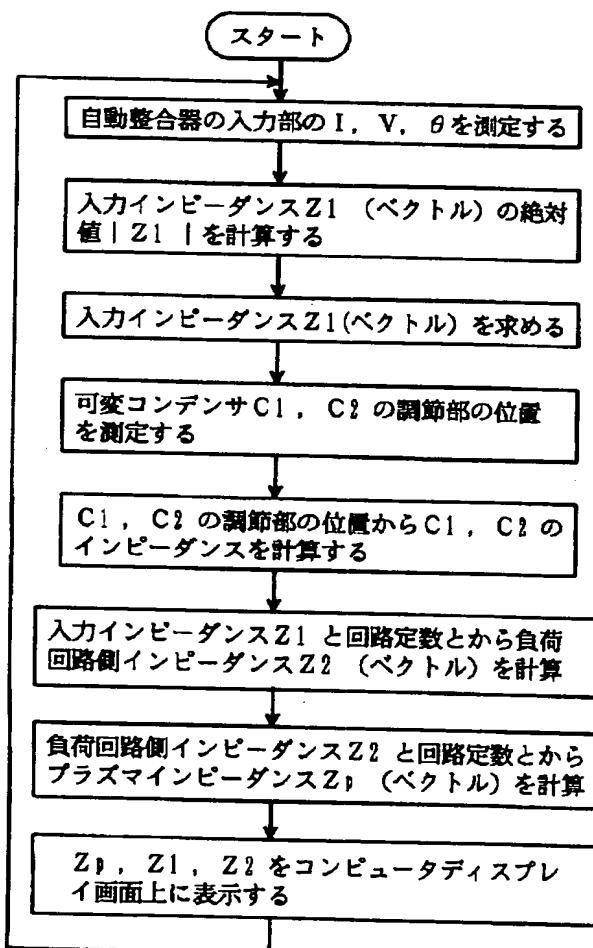
【図2】



(9)

特開平4-368799

【図3】



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第1区分

【発行日】平成11年(1999)7月9日

【公開番号】特開平4-368799

【公開日】平成4年(1992)12月21日

【年通号数】公開特許公報4-3688

【出願番号】特願平3-144847

【国際特許分類第6版】

H05H 1/00

G01R 27/02

【F1】

H05H 1/00 A

G01R 27/02 A

【手続補正書】

【提出日】平成10年6月2日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】プラズマインピーダンス測定装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】高周波電源から電力が供給されているプラズマ負荷のインピーダンスを測定するプラズマインピーダンス測定装置において、前記高周波電源とプラズマ負荷との間にインピーダンス変換回路を挿入しておき、前記インピーダンス変換回路の入力側の回路の任意の点に設定した測定点での高周波電流の絶対値を検出する入力電流検出手段と、

前記測定点での高周波電圧の絶対値を検出する入力電圧検出手段と、

前記測定点での高周波電流と高周波電圧との位相差を検出する位相差検出手段と、

前記測定点での高周波電流の絶対値と高周波電圧の絶対値と前記位相差とから、前記測定点より負荷側を見たインピーダンスを入力インピーダンスとして演算する入力インピーダンス演算手段と、

前記測定点とインピーダンス変換回路の出力端との間の回路の回路定数と前記入力インピーダンスとから、前記インピーダンス変換回路の出力端より前記プラズマ負荷側の回路を見たインピーダンスを負荷回路側インピーダンスとして演算する負荷回路側インピーダンス演算手段とを備えてなるプラズマインピーダンス測定装置。

【請求項2】前記インピーダンス変換回路の出力端と前記プラズマ負荷との間をつなぐ回路の定数と前記負荷回路側インピーダンスとから、前記プラズマ負荷のイン

ピーダンスを演算するプラズマインピーダンス演算手段を更に備えてなる請求項1に記載のプラズマインピーダンス測定装置。

【請求項3】前記インピーダンス変換回路は、可変コンデンサ、可変インダクタまたはこれらの組み合わせをインピーダンス調節手段としたインピーダンス整合回路からなり、

前記インピーダンス調節手段の調節部の位置を検出して、該インピーダンス調節手段のインピーダンスを演算するインピーダンス演算手段を有し、

前記負荷回路側インピーダンス演算手段は、前記インピーダンス演算手段が演算したインピーダンス調節手段のインピーダンスとその他の回路定数とを用いて前記負荷回路側インピーダンスを演算する請求項1または2に記載のプラズマインピーダンス測定装置。

【請求項4】前記プラズマインピーダンス演算手段の演算結果をディスプレイ装置の画面上に表示する表示手段を更に備えている請求項1ないし3のいずれか1つに記載のプラズマインピーダンス測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、高周波電源から電力が供給されているプラズマ負荷のインピーダンスを測定するプラズマインピーダンス測定装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体IC、LCD(液晶ディスプレイ)等の製造過程においては、エッチング、スパッタリング、薄膜成長等を行う際に、プラズマを用いるプロセス(プラズマプロセスという。)が行われる。プラズマプロセスにおいては、エッチング、スパッタリング、薄膜成長等の処理を行うチャンバ内に設けた電極に高周波電力を供給して、チャンバ内にプラズマを発生させている。

【0003】このように、プラズマを生じさせる負荷（プラズマ負荷という。）に高周波電力を供給する場合には、高周波電源とプラズマ負荷との間のインピーダンスの整合をとることが重要であり、両者間のインピーダンスの整合がとれていない場合には、高周波電源の出力端で電力の反射が生じてプラズマ負荷に高周波電力を効率良く供給することができないため、そのプロセスにおいて好結果を得ることができない。

【0004】そのため、高周波電源からプラズマ負荷に電力を供給する場合には、高周波電源とプラズマ負荷との間にし、C回路やトランス等からなるインピーダンス整合回路を挿入することが必要不可欠である。

【0005】図4は、高周波電源1から自動インピーダンス整合回路2'を通じてプラズマ負荷4に電力を供給する場合の回路図を示したものである。インピーダンス整合回路2'は、一定のインダクタンスを有するコイルL1と、第1の可変コンデンサC1と、タップを選択することによりインダクタンスを調整できるようになっているコイルL2と、第2の可変コンデンサC2とにより構成され、第1の可変コンデンサC1と第2の可変コンデンサC2の静電容量を変えることによりインピーダンスの整合を行うようになっている。

【0006】第1及び第2の可変コンデンサC1及びC2の調整を自動的に行わせるため、この種の自動整合回路では、図示しない検出器により、整合回路2'の入力端の高周波電圧V及び高周波電流Iと、該電圧V及び電流Iの位相差θとを検出し、該電圧Vの絶対値と電流Iの絶対値との比から、インピーダンス整合回路の入力端より負荷側を見たインピーダンスZ1'を検出して、該インピーダンスZ1'を電源の出力インピーダンスZ0 (=50Ω、一定)に一致させ、かつ位相差θを零にするようにコンデンサC1及びC2を調節する。

【0007】上記の調節の内、インピーダンスZ1'を電源の出力インピーダンスの絶対値に一致させるための調節は、主として第1のコンデンサC1の静電容量を調節することにより行われ、位相差θを零にするための調節は、主として第2のコンデンサC2の静電容量を調節することにより行われる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】無線通信用のアンテナや、増幅器の入力回路等に設ける一般的のインピーダンス整合回路においては、負荷のインピーダンスが予め分かれているため、既知の負荷インピーダンスを用いて整合回路の回路定数を容易に設定することができる。また負荷インピーダンスが一定であれば、整合回路の回路定数を一定として整合状態を保つことができる。

【0009】しかしながらプラズマ負荷の場合には、そのインピーダンスが時々刻々変化するため、既知のインピーダンスを接続して整合回路の回路定数を決めるわけにはいかない。またプラズマインピーダンスが時々刻々

変化するため、固定の回路定数を有する整合回路ではインピーダンスの整合をとることができない。

【0010】図4に示したインピーダンス整合回路において、インピーダンスの整合を的確に行わせるために、整合回路の回路定数（コンデンサC1及びC2の静電容量の可変範囲、コイルL1、L2のインダクタンス）をプラズマインピーダンスの変動範囲に応じて適值に設定することが必要である。

【0011】ところが、従来は、プラズマインピーダンスを測定する適当な方法がなく、プラズマインピーダンスに関する情報を用いて整合回路2'の回路定数を設定することができなかつたため、整合回路2'の入力端で測定した電圧及び電流のみに基づいて、高周波電源側への反射電力を低減させるように、整合回路の回路定数を設定していた。この回路定数の設定は、プラズマインピーダンスに関する情報が与えられない状態で、経験と勘とに頼って行う必要があるため、設定に時間を要するだけでなく、必ずしも最適の設定を行うことができないという問題があった。回路定数の設定が適切でないと、プラズマ負荷の全ての状態で整合をとることができなくなり、自動整合回路の制御動作が不能になることがあった。

【0012】その他、プラズマ負荷の状態を解析したり、インピーダンス整合回路の動作不良の原因を解析したりするするためにも、プラズマインピーダンスを監視することが好ましいが、従来はプラズマインピーダンスを知る適当な方法が提案されていなかった。

【0013】尚プラズマインピーダンスを測定する方法として、整合回路2'の出力側で電圧と電流とを測定する方法が考えられるが、整合回路2'とプラズマ負荷4との間には定在波が発生していて、電圧が非常に高い上にその周波数が高いため、整合回路2'の出力側で電圧と電流を測定することによりプラズマインピーダンスを測定することは困難である。

【0014】本発明の目的は、プラズマインピーダンスを的確に測定することができるプラズマインピーダンス測定装置を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明は、高周波電源1から電力が供給されているプラズマ負荷4のインピーダンスを測定するプラズマインピーダンス測定装置である。

【0016】本発明のプラズマインピーダンス測定装置では、図1に示したように、高周波電源1とプラズマ負荷4との間にインピーダンス変換回路2を設ける。このインピーダンス変換回路は、入出力のインピーダンスを変換する回路であって、その回路定数が既知のものであればよく、L、C回路やトランスを用いることができるが、インピーダンス整合回路が設けられている場合には、該インピーダンス整合回路自体を上記インピーダン

ス変換回路2とすることができる。またインピーダンス整合回路の一部を上記インピーダンス変換回路2として用いることもできる。

【0017】インピーダンス整合回路としては、可変コンデンサ、可変インダクタ（コイルのインダクタンス値を微細に変化させることができる素子）またはこれらの組み合わせを、入出力インピーダンスを調節するインピーダンス調節手段としたものを用いることができる。

【0018】本発明の測定装置では、インピーダンス変換回路2の入力側の回路の任意の点に設定した測定点Pでの高周波電圧の絶対値を検出する入力電圧検出手段6と、測定点Pでの高周波電流と高周波電圧との位相差を検出する位相差検出手段7と、測定点Pでの高周波電流の絶対値と高周波電圧の絶対値と位相差とにより、測定点から負荷側を見たインピーダンスを入力インピーダンスとして演算する入力インピーダンス演算手段8と、測定点Pとインピーダンス変換回路2の出力端との間の回路の回路定数と前記入力インピーダンスとから、インピーダンス変換回路2の出力端よりプラズマ負荷側の回路を見たインピーダンスを負荷回路側インピーダンスとして演算する負荷回路側インピーダンス演算手段10とを設ける。上記負荷回路側インピーダンス演算手段10が演算するプラズマインピーダンスは、インピーダンス変換回路2の出力端とプラズマ負荷4との間をつなぐ回路のインピーダンスを含んでいるが、プラズマ負荷のインピーダンスのみをプラズマインピーダンスとして測定する場合には、インピーダンス変換回路の出力端とプラズマ負荷との間をつなぐ回路の定数と負荷回路側インピーダンスとから、プラズマ負荷のインピーダンスを演算するプラズマインピーダンス演算手段11を更に設ける。

【0019】インピーダンス変換回路として、可変コンデンサ、可変インダクタまたはこれらの組み合わせをインピーダンス調節手段としたインピーダンス整合回路を用いる場合には、インピーダンス調節手段の調節部の位置を検出して、該インピーダンス調節手段のインピーダンスを演算する調節用インピーダンス演算手段9を設ける。そして負荷回路側インピーダンス演算手段では、調節用インピーダンス演算手段9が演算したインピーダンス調節手段のインピーダンスとその他の回路定数とを用いて負荷回路側インピーダンスを演算する。

【0020】また演算結果を容易に確認できるようにするため、上記プラズマインピーダンス演算手段の演算結果をディスプレイ装置の画面上に表示する表示手段12を更に設けることが好ましい。

【0021】インピーダンス変換回路2の入力側に設定する測定点Pは、インピーダンス変換回路2と高周波電源1の出力端子との間の回路の任意の点に設定することができるが、インピーダンス変換回路2として自動インピーダンス整合回路が用いられる場合には、該インピーダンス整合回路の入力端を測定点Pとするのがよい。こ

のように自動インピーダンス整合回路の入力端を測定点とすれば、電流検出手段、電圧検出手段及び位相差検出手段として、自動インピーダンス整合回路に本来設けられているものを利用することができる。

【0022】尚インピーダンス変換回路2の入力端よりも電源側に測定点を設定した場合には、インピーダンス変換回路2の入力インピーダンスと、インピーダンス変換回路の入力端子と測定点との間の線路のインピーダンスとの和が、入力インピーダンス演算手段8により演算されることになる。

【0023】

【作用】上記のプラズマインピーダンス測定装置において、入力インピーダンス演算手段は、測定点から負荷側を見たインピーダンスを入力インピーダンスZ1として演算する。測定点とインピーダンス変換回路の出力端との間の回路の回路定数は既知である。インピーダンス変換回路に可変コンデンサ等の可変素子が設けられている場合でもその定数（コンデンサの場合には静電容量）は操作子の位置等から容易に知ることができる。負荷回路側インピーダンス演算手段10は、インピーダンス変換回路2の出力端子からプラズマ負荷側の回路を見た負荷回路側インピーダンスZ2の抵抗分及びリアクタンス分をそれぞれ未知数として、上記既知の回路定数と演算で求めた入力インピーダンスZ1とから、該負荷回路側インピーダンスの抵抗分及びリアクタンス分を演算する。

【0024】インピーダンス整合回路の出力端とプラズマ負荷との間をつなぐ分布定数回路の定数は既知であるため、上記負荷回路側インピーダンスが求まれば、分布定数回路の公式よりプラズマインピーダンスZpを求めることができる。

【0025】上記の各演算はコンピュータを用いることにより瞬時に行うことができるため、時々刻々変化するプラズマインピーダンスをほぼリアルタイムで測定することができる。

【0026】プラズマインピーダンスを知ることができれば、インピーダンス整合回路の回路定数の設定を的確に行うことができる。また時々刻々変化するプラズマインピーダンスをリアルタイムで測定するため、高周波電力に対する負荷の状態を監視することができる。

【0027】更に上記の測定結果を用いてインピーダンス整合回路の自動制御を行うことも可能である。

【0028】

【実施例】図2は本発明の実施例の構成を示したもので、同図において1は高周波電源、2はインピーダンス変換回路であり、このインピーダンス変換回路は、プラズマ負荷に高周波電力を供給する際に従来から用いられている自動インピーダンス整合回路からなっている。インピーダンス変換回路2は同軸ケーブル3を通してプラズマ負荷4に接続されている。

【0029】インピーダンス変換回路2を構成するインピーダンス整合回路は、図4に示したものと同様に、インダクタンスが一定なコイルL1と、第1の可変コンデンサC1と、第2の可変コンデンサC2と、タップを選択することによりインダクタンスの調整が可能なコイルL2とを備えている。第1及び第2の可変コンデンサC1及びC2のそれぞれの静電容量を調節する調節部（操作軸）は、モータを駆動源とした図示しない操作機構に連結されている。また各可変コンデンサの調節部を駆動するモータを制御する図示しない制御部が設けられていて、該制御部により可変コンデンサC1及びC2の操作子の回転を制御することにより、それぞれの可変コンデンサの静電容量を調整するようになっている。

【0030】この例では、可変コンデンサC1及びC2により、インピーダンス整合回路のインピーダンス調節手段が構成されている。

【0031】インピーダンス変換回路2を構成する自動インピーダンス整合回路の入力端には、高周波電流I（ベクトル）の絶対値|I|と、高周波電圧V（ベクトル）の絶対値|V|と、電流Iと電圧Vの位相差θとを検出する検出器2Aが設けられている。

【0032】インピーダンス変換回路の制御部は、高周波電圧Vの絶対値と高周波電流Iの絶対値との比をとって、該整合回路の入力端子から負荷側を見たインピーダンスZ1'を演算し、主として第1のコンデンサC1を調整することにより、該インピーダンスZ1'を電源の出力インピーダンスZ0の絶対値（=50Ω、一定）に一致させるように調節する。制御部はまた主として第2のコンデンサC2を調整することにより、高周波電流Iと高周波電圧Vとの位相差θを零にするように調節する。

【0033】本発明においては、インピーダンス変換回路2から電源の出力端に至る回路の任意の点に設定した測定点から該インピーダンス整合回路を見たインピーダンスを入力インピーダンスZ1として求めて、これをプラズマインピーダンスの演算に用いるが、本実施例では、インピーダンス変換回路2の入力端を測定点とし、該変換回路2を構成する自動インピーダンス整合回路に本来設けられている検出器2Aが検出している電流I、電圧V及び位相差θを入力インピーダンスZ1の演算に用いる。この場合の入力インピーダンスZ1は自動インピーダンス整合回路で演算されるインピーダンスZ1'に等しくなる。

$$|Z1| = |V| / |I|$$

次に上記インピーダンスの絶対値と、電圧、電流の位相差θとから、次式により入力インピーダンスZ1を演算する。該インピーダンスZ1の抵抗分をR1とし、リアクタンス分をX1とし、 $Z1 = R1 + jX1$ とおくと、R1及びX1は次の式で与えられる。

$$R1 = |Z1| \cos \theta$$

$$X1 = |Z1| \sin \theta$$

次いで位置検出信号Vp1及びVp2から可変コンデンサC

【0034】本発明ではまた、測定点とインピーダンス変換回路2の出力端との間の回路の回路定数と入力インピーダンスZ1とから、インピーダンス整合回路2の出力端よりプラズマ負荷側の回路を見たインピーダンスを負荷回路側インピーダンスZ2として演算する。

【0035】本実施例では、インピーダンス変換回路2の入力端を測定点としているため、この演算には入力インピーダンスZ1と、インピーダンス変換回路の回路定数とを用いればよい。

【0036】インピーダンス変換回路2の回路定数は、第1及び第2の可変コンデンサC1及びC2の静電容量と、コイルL1及びL2のインダクタンスとである。これらの内、コイルL1及びL2のインダクタンスは既知であるが、インピーダンス調節手段である第1及び第2の可変コンデンサC1及びC2の静電容量は随時変化する。そこで本実施例では、可変コンデンサC1及びC2の静電容量を演算するため、可変抵抗器VR1及びVR2を設け、これらの可変抵抗器の摺動子を可変コンデンサC1及びC2の調節部と連動するようにそれぞれの可変コンデンサの調節部の駆動機構に連結している。可変抵抗器VR1及びVR2の両端には一定の直流電圧を印加してあり、可変抵抗器VR1及びVR2の摺動子と接地間にそれぞれコンデンサC1及びC2の調節部の位置（回転角）に相応した位置検出信号Vp1及びVp2を得るようにしている。この実施例では、可変抵抗器VR1及びVR2によりインピーダンス調節手段の調節部の位置を検出する調節位置検出装置が構成され、この検出装置の検出信号Vp1及びVp2からインピーダンス調節手段としての可変コンデンサC1及びC2のインピーダンスが演算される。

【0037】電流の絶対値|I|、電圧の絶対値|V|、位相差θ及び位置検出信号Vp1、Vp2はアナログ/デジタルコンバータ（A/Dコンバータ）20に入力されてデジタル信号に変換され、それぞれのデジタル信号がコンピュータ21に入力されている。

【0038】コンピュータ21は図3に示したアルゴリズムに従ってプラズマインピーダンスを演算し、その結果をディスプレイ装置12に表示する。

【0039】図3に示したアルゴリズムに従って行われる処理は次の通りである。

【0040】先ず電流Iの絶対値|I|と電圧Vの絶対値|V|とから次式（1）により入力インピーダンスZ1の絶対値|Z1|を演算する。

$$\dots (1)$$

クタンス分をX1とし、 $Z1 = R1 + jX1$ とおくと、R1及びX1は次の式で与えられる。

$$\dots (2)$$

$$\dots (3)$$

1及びC2の静電容量を演算し、その結果に基づいて可

変コンデンサ  $C_1$  及び  $C_2$  のインピーダンス  $-jX_{C1}$  及び  $-jX_{C2}$  を演算する。可変コンデンサ  $C_1$  及び  $C_2$  の静電容量をそれぞれ同じ符号  $C_1$  及び  $C_2$  で表わすと、可変コンデンサ  $C_1$  及び  $C_2$  のインピーダンス  $-jX_{C1}$  及び  $-jX_{C2}$  はそれぞれ  $-jX_{C1} = j(1/j\omega C_1)$  及び  $-jX_{C2} = j(1/j\omega C_2)$  ( $\omega$  は角周波数) で与えられる。ここでコイル  $L_1$  及びコイル  $L_2$  のインダクタンスをそれぞれ同じ符号  $L_1$  及び  $L_2$  で表わして、両コイルのインピーダンス  $jX_{L1}$  及び  $jX_{L2}$  はそれぞれ  $jX_{L1} = j\omega L_1$  及び  $jX_{L2} = j\omega L_2$  とする。

$$R_2 = R_1 * (X_{C1})^2 / B \quad \dots (4)$$

$$X_2 = \{R_1^2 * X_{C1} + (X + X_{C1} * X_{C1} * X)\} / B + X_{C2} - X_{L2} \quad \dots (5)$$

但し、

$$X = X_1 - X_{L1} \quad \dots (6)$$

$$B = R_1^2 + (X + X_{C1})^2 \quad \dots (7)$$

次に変換回路 2 とプラズマ負荷との間を接続する同軸ケーブルの特性インピーダンスを  $50 \Omega$ 、該同軸ケーブルの長さを  $d$  [m]、インピーダンス変換回路 2 とプラズマ

$$Z_p = 50 * z_p \quad \dots (8)$$

但し、

$$z_p = \{z_2 - j \tan(\beta d)\} / \{1 - j z_2 \tan(\beta d)\} \quad \dots (9)$$

$$z_2 = Z_2 / 50 \quad \dots (10)$$

本実施例では、図 3 のフローチャートの、インピーダンス  $Z_1$  の絶対値を演算する過程と、インピーダンス  $Z_1$  のベクトルを求める過程とにより、入力インピーダンス演算手段 8 が実現される。また可変コンデンサ  $C_1$ 、 $C_2$  のインピーダンスを計算する過程と、インピーダンス変換回路の回路定数及び入力インピーダンス  $Z_1$  から負荷回路側インピーダンス  $Z_2$  を演算する過程とにより負荷回路側インピーダンス演算手段が実現される。更にプラズマインピーダンス  $Z_p$  を計算する過程により、プラズマインピーダンス演算手段 11 が実現される。

【0043】上記プラズマインピーダンス  $Z_p$  と、入力インピーダンス  $Z_1$  と、負荷回路側インピーダンス  $Z_2$  とをコンピュータのディスプレイ装置の画面上に表示させる。この過程により、表示手段 12 が実現される。

【0044】上記の各インピーダンスは例えば、自動インピーダンス整合回路のインピーダンスの整合範囲を表示したスミスチャート上に表示して、自動インピーダンス整合回路の出力インピーダンス（負荷インピーダンスにより決まる。）が整合範囲にあるか否かを判断するための判断基準として用いることができる。尚スミスチャートを用いる代りに、インピーダンスの直交座標系を用いて上記インピーダンス  $Z_p$ 、 $Z_1$  及び  $Z_2$  を表示させることもよい。

【0045】上記の実施例では、インピーダンス変換回路 2 として自動インピーダンス整合回路を用いているが、自動インピーダンス整合回路の構成は図示の例に限られるものではない。例えば図 2 において、コイル  $L_1$  は省略される場合がある。また図 2 のインピーダンス整

【0041】次に変換回路の出力端から負荷側の回路を見た負荷回路側インピーダンス  $Z_2$  を、 $Z_2 = R_2 + jX_2$  とおいて、該  $R_2$  及び  $X_2$  を未知数とし、入力インピーダンス  $Z_1$  の抵抗分  $R_1$  及びリアクタンス分  $X_1$  と、変換回路の構成要素のリアクタンス  $X_{C1}$ 、 $X_{C2}$ 、 $X_{L1}$  及び  $X_{L2}$  を既知数として、 $R_2$  及び  $X_2$  を求める。これら  $R_2$  及び  $X_2$  は次の式により与えられる。尚「\*」は乗算記号を示す。

【0042】

$$R_2 = R_1 * (X_{C1})^2 / B \quad \dots (4)$$

$$X_2 = \{R_1^2 * X_{C1} + (X + X_{C1} * X_{C1} * X)\} / B + X_{C2} - X_{L2} \quad \dots (5)$$

$$X = X_1 - X_{L1} \quad \dots (6)$$

$$B = R_1^2 + (X + X_{C1})^2 \quad \dots (7)$$

負荷 4 との間を接続する分布定数回路の位相定数を  $B$  とすると、プラズマインピーダンス  $Z_p$  は次の式により求められる。

$$Z_p = \{z_2 - j \tan(\beta d)\} / \{1 - j z_2 \tan(\beta d)\} \quad \dots (8)$$

$$z_2 = Z_2 / 50 \quad \dots (9)$$

$$z_p = \{z_2 - j \tan(\beta d)\} / \{1 - j z_2 \tan(\beta d)\} \quad \dots (10)$$

合回路において、可変コンデンサ  $C_2$  は、該コンデンサ  $C_2$  とコイル  $L_2$  との直列回路の等価的なインダクタンスを変化させるために設けられているが、インダクタンス値を微細に調整し得る可変インダクタを使用できる場合（周波数帯域によっては使用できない場合もある。）には、可変コンデンサ  $C_2$  及びコイル  $L_2$  の直列回路を可変インダクタ単体で置き換えて、該可変インダクタをインピーダンス整合回路のインピーダンス調節手段とすることもできる。その場合には、可変インダクタの調節部の位置を検出して、検出した位置から可変インダクタのインピーダンス値を演算するようとする。

【0046】その他インピーダンス整合回路の構成には無数の変形を考えることができ、可変コンデンサと可変インダクタとの双方をインピーダンス調節手段とする場合もある。

【0047】尚本発明においてプラズマインピーダンスの測定のために用いるインピーダンス変換回路は、入出力のインピーダンスを変換するものであって、その回路定数が既知のもの、または回路定数を知り得るものであればよく、該インピーダンス変換回路としてトランジスタや、L、C 回路等を用いることもできる。

【0048】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、プラズマに印加されている電圧及び電流を測定せずに、プラズマインピーダンスをほぼリアルタイムで測定することができる利点がある。

【0049】プラズマインピーダンスを測定することにより、高周波電力に対する負荷の状態を知ることができ

るだけでなく、高周波電源とプラズマ負荷との間に設けられるインピーダンス整合回路の回路定数の測定を的確に行うことができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施例の構成を示す回路図である。

【図3】本発明の各手段を実現するコンピュータソフトのアルゴリズムを示すフローチャートである。

【図4】高周波電源からプラズマ負荷に電力を供給する回路の構成を概略的に示した回路図である。

【符号の説明】

1…高周波電源、2…インピーダンス変換回路、4…プラ

ラズマ負荷、5…入力電流検出手段、6…入力電圧検出手段、7…位相差検出手段、8…入力インピーダンス演算手段、9…調節用インピーダンス演算手段、10…負荷回路側インピーダンス演算手段、11…プラズマインピーダンス演算手段、12…表示手段。

【手続補正2】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図1

【補正方法】変更

【補正内容】

【図1】

